İKİ ANKRAJLI ÇELİK PALPLANŞ DUVARIN DEPLASMANI ÜZERİNE ANKRAJ KONUMUNUN ETKİSİ

THE EFFECT OF THE ANCHOR LOCATİON ON THE DİSPLACEMENT OF TWO ANCHORED STEEL SHEET PİLE WALL

Mehmet Fatih YAZICI
Araştırma Görevlisi, Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, (Sorumlu Yazar)
Ahmetcan SUNGUR
Doktora Öğrencisi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Sıddıka Nilay KESKİN
Prof. Dr., Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

ÖZET
Günümüzde iş merkezleri, çok katlı otoparklar, alt geçitler, yüksek binalar vb. yapıların inşaatlarında derin kazı problemi ortaya çıkmaktadır. Derin kazı gerektiren bu tür inşaat işlerinde kazı alanı içerisinde güvenli bir çalışma ortamı oluşturmak ve kazı alanına yakın bina, yol ve alt yapıların zarar görmesini engellemek amacı ile bir iksa sisteminin kullanılması gerekmektedir. Bu amaç için kullanılacak iksa sisteminin 2 yıldan daha az süre için gerekli olduğu durumlarda tasarımın, dinamik etkiler ihmal edilerek gerçekleştirilebileceği "Kazı Güvenliği ve Alınacak Önlemler" genelgesinde belirtilmiştir. Buradan yola çıkarak bu çalışmada, orta sıkı kuru kum içerisinde açılacak 10 m derinliğe sahip bir kazı çukurunda geçici olarak (2 yıldan daha az süre için) kullanılacak iki ankrajlı çelik palplanş duvarın deplasmanı üzerine ankraj konumlarının etkisi incelenmiştir. Analizler, sonlu elemanlar yöntemini kullanan Plaxis 2D yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak ilk ankrajın zemin üst yüzeyine olan düşey mesafesinin kazı derinliğinin %30'una, ikinci ankrajın zemin üst yüzeyine olan düşey mesafesinin ise kazı derinliğinin %75'ine eşit olduğu durumda en küçük deplasmanların oluştuğu gözlemlenmiştir. Ayrıca analizlerin tümüne bakıldığında en üstteki ankrajın zemin üst yüzeyine olan düşey mesafesinin genellikle kazı derinliğinin %30~32,5'ine eşit olduğu durumda en düşük deplasmanların meydana geldiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Sonlu elemanlar yöntemi, ankrajlı palplanş duvar, duvar deplasmanı, derin kazı

ABSTRACT
Nowadays, deep excavation problems arise in the construction of buildings such as shopping malls, multi-storey car parks, underpasses and high buildings. In such construction works encountered deep excavation, a shoring system should be used to provide a safe working site in the excavation area and to prevent damage to buildings, roads and infrastructures close to the excavation site. In the design of the shoring system to be used for time less than 2 years, it was stated that the dynamic effects could be neglected by the "Turkish Building Seismic Code (TBSC) [1]". Based on this, in this study, the effect of the anchor locations on the displacement of two anchored steel sheet pile wall to be used temporarily (for less than 2 years) in a 10 m deep excavation pit in medium dense and dry sand was investigated. For this purpose, Plaxis 2D software, which uses the finite element method, was used in the analysis. As a result, it has been observed that the smallest displacements occur when the vertical distance of the uppermost anchor to the ground surface is equal to 30% of the excavation depth and the vertical distance of the lowest most anchorage to the ground surface is equal to 75% of the excavation depth. In addition, when all the analyzes are examined, it is seen that the lowest displacements occur when the vertical distance of the uppermost anchor to the ground surface is generally equal to 30~32,5% of the excavation depth.

Keywords: Finite elements method, anchored sheet pile wall, wall displacement, deep excavation

GİRİŞ
"Kazı Güvenliği ve Alınacak Önlemler [1]" genelgesinin yürürlüğe girmesi ile birçok inşaat işinde iksa sistemi kullanımı kaçınılmaz olmuştur. İksa sistemi gerektiren işlerde kazı alanı içerisinde ve bitişiğinde güvenli bir ortam temin etmek için istinat duvarları, palplanş duvarlar, kazıklar, diyafram duvarlar ve toprakarme duvarlar yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle geçici işlerde kullanılan palplanş

duvarlar, yeniden kullanılabilme özelliklerinden dolayı uzun dönemde diğer duvar türlerine nispeten daha ekonomik olmaktadırlar. Bu nedenle bu çalışma kapsamında incelenmek üzere palplanş duvarlar tercih edilmiştir. Palplanş duvar tasarımının güvenliğini kontrol eden en önemli parametrelerden biri duvar deplasmanlarıdır. Literatürde Dinakar and Prasad [2], Zhao vd. [3], Ma vd. [4], Ram ve Mohanty [5], Bilgin ve Erten [6], Zhang vd. [7], Sanzeni vd. [8] ve Tefera vd. [9], palplanş duvarların deplasmanlarını inceleyen araştırmacılardan bazılarıdır. Bu çalışma kapsamında ise 10 m kazıyı tutan iki ankrajlı çelik bir palplanş duvarda ankraj konumlarının duvar deplasmanları üzerine etkisi araştırılmıştır.

MATERYAL VE METOT

1.75 m'den daha derin temel kazısı gerektiren inşaatlarda uygun şev açılarıyla stabil bir şevli kazı yapılamaması durumunda, "Kazı Güvenliği ve Alınacak Önlemler [1]" genelgesi tarafından bir iksa sisteminin kullanılması zorunlu kılınmıştır. Ayrıca iksa sisteminin 2 yıldan daha az süre için gerekli olacağı durumlarda genelge, hesapların dinamik etkiler olmadan yapılabileceğini önermiştir. Buradan yola çıkarak bu çalışma kapsamında geçici amaç için kullanılacak (2 yıldan daha az süre için) iki ankrajlı çelik bir palplanş duvar incelenmiştir. Güvenli bir iksa sistemi için en önemli parametrelerden biri duvar deplasmanları olduğu için bu çalışmada iki ankrajlı çelik palplanşın deplasmanı üzerine ankrajların düşey konumlarının etkisi araştırılmıştır. Bunun için ankrajların düşey konumları değiştirilerek 224 farklı palplanş duvarın deplasmanları Plaxis 2D'de incelenmiştir. Plaxis 2D'de modellenecek olan duvarın çakma derinliğinin, rijitliğinin ve ankraj rijitlikleri ile uzunluklarının belirlenebilmesi için, çok ankrajlı iksa duvarları için FHWA [10] tarafından önerilen ve Şekil 1'de gösterilen trapezoid biçimli toprak basıncı zarfları kullanılarak statik analizler gerçekleştirilmiştir. FHWA [10], bu toprak basıncı zarflarının kullanılması ile yeterli dayanıma sahip olan malzemeler (orta sıkı-sıkı kum, sert kil) içerisine çakılan palplanş duvara etki eden maksimum eğilme momentinin ve ankraj kuvvetlerinin makul sınırlar içerisinde tahmin edilebileceğini ifade etmiştir. Hesaplarda palplanş duvarın orta sıkı kuru kum zemin içerisine çakıldığı varsayılmıştır. Kum zemine ait doğal birim hacim ağırlık değeri 18 kN/m^3, içsel sürtünme açısı değeri 30^0 olarak seçilmiş ve yer altı su seviyesinin çok derinlerde olduğu varsayılmıştır. Ayrıca kazı derinliği 10 m, ankrajlar arası yatay mesafe 1,5 m, ankraj eğim açısı 15^0 ve palplanş türü içinse Larssen tipi palplanş seçilmiştir. Ankraj kök bölgeleri arasındaki etkileşimi sınırlandırmak için hesaplarda ankrajlar arasındaki düşey mesafenin en küçük değeri 1,5 m olarak kullanılmıştır [11].

Şekil 1. İki ankrajlı palplanş duvarlar için toprak basıncı zarfı

Şekil 1'de T_{h1}; en üstteki (1. sıradaki) yatay ankraj kuvvetini, T_{h2}; en alttaki (2. sıradaki) yatay ankraj kuvvetini, R; kazı tabanı altındaki zemin tarafından direnilmesi gereken reaksiyon kuvvetini, H; kazı derinliğini, D; çakma derinliğini, H_1; en üstteki ankrajın zemin üst yüzeyine olan düşey mesafesini, H_2; 1. ve 2. sıradaki ankrajlar arasındaki düşey mesafeyi, T_{2u} ve T_{2l}; 2. ankraj kuvvetinin yatay bileşenlerini,

M_B; 1. ankraj konumunda meydana gelen eğilme momentini, M_{BC} ve M_{CD} ise kesme kuvvetinin sıfır olduğu noktada meydana gelen eğilme momentini temsil etmektedir. Şekil 1'de gösterilen toprak basıncının maksimum basınç ordinat değeri olan p, Eşitlik (1) ile hesaplanmaktadır.

$$p = \frac{0.65 K_a \gamma_n H^2}{H - \left(\frac{H_1 + H_3}{3}\right)} \tag{1}$$

$$K_a = \tan^2\left(45 - \frac{\varnothing}{2}\right) \tag{2}$$

Burada γ_n; zeminin doğal birim hacim ağırlığıdır.

FHWA [10], Şekil 1'de gösterilen hiperstatik sistemin çözümü için ikinci ankraj konumunda ve kazı tabanında bir mafsalın meydana geldiğini varsayan mafsal yöntemini önermiştir. Bu yöntem kullanılarak duvarın birim genişliği başına ankrajlara gelen yatay kuvvetler hesaplanmış ve daha sonra kesme kuvvetinin sıfır olduğu noktadaki eğilme momenti ile M_B momenti hesaplanmıştır. Bu iki moment değerinden büyük olanı duvara gelen maksimum eğilme momenti olarak seçilmiştir. Araştırma kapsamında akma dayanımı 345 Mpa olan ve yaygın bir şekilde kullanılan Larssen tipi palplanş kullanılmıştır. Palplanşın müsaade edilebilir eğilme gerilmesi değeri akma dayanımının %55'ine eşit olarak alınmıştır [10]. Sonuç olarak palplanş kesitinin seçiminde kullanılacak olan minimum kesit modülü Eşitlik (3)'e göre hesaplanmıştır.

$$S_{min} = \frac{M_{max}}{\sigma_{all}} \tag{3}$$

Burada σ_{all}; palplanş çeliğinin müsaade edilebilir eğilme gerilmesi, M_{max}; duvara gelen maksimum eğilme momentidir.

Ankraj kök uzunluğunun belirlenmesinde ve halat sayısının seçiminde kullanılacak ankraj kuvvetlerinin belirlenmesi için Eşitlik (4) kullanılmıştır [10].

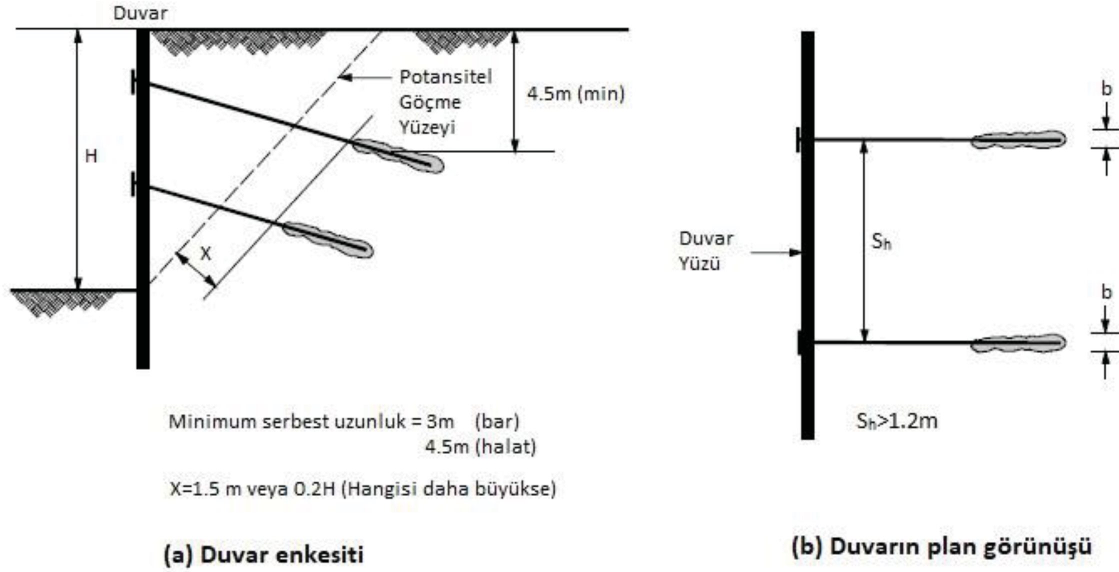
$$T_i = \frac{T_{hi} s}{\cos\theta} \tag{4}$$

Burada T_i; i. sıradaki ankraj kuvvetini, T_{hi}; duvarın birim genişliği başına i. sıradaki ankraja gelen yatay kuvveti, s; ankrajlar arasındaki yatay kuvveti, θ; ankrajların eğim açısını temsil etmektedir.

Ankrajların minimum gövde uzunluklarının belirlenmesinde Şekil 2'de gösterilen ve FHWA [10] tarafından önerilen sınır koşullar kullanılmıştır. Kök uzunluklarının belirlenmesi için de yine FHWA [10] tarafından orta sıkı kumlar için önerilen Eşitlik (5) kullanılmıştır.

$$T_i \leq 145 L_{(kök)_i} \tag{5}$$

Burada $L_{(kök)i}$; i. ankraja ait minimum kök uzunluğunu göstermektedir.



Şekil 2. Ankrajlı palplanş duvarlar için sınır değerler [10]

Eşitlik 5 ve Şekil 2 yardımıyla en üstteki ankrajın kök ve gövde uzunluğu hesaplandıktan sonra, kök bölgesinin orta noktası üzerinde bırakılması gereken minimum 4,5 m'lik örtü yükü şartının sağlanamadığı yerlerde şart sağlanana kadar ankraj uzunluğu arttırılmıştır. Bu çalışma kapsamında ankraj gövdelerinde Aaron [12] tarafından önerilen elastisite modülü 196500000 kPa olan Tip 270 öngermeli halatlar kullanılmıştır. Bu nedenle ankraj gövdesinin uzunluğu için minimum 4,5 m değeri dikkate alınmıştır (Şekil 2). Halat sayısı seçimi için FHWA [10] tarafından önerilen Çizelge 1'deki değerler kullanılmıştır. Ayrıca ankraj çapının belirlenmesi için yine FHWA [10] tarafından önerilen Çizelge 2'deki değerler kullanılmıştır.

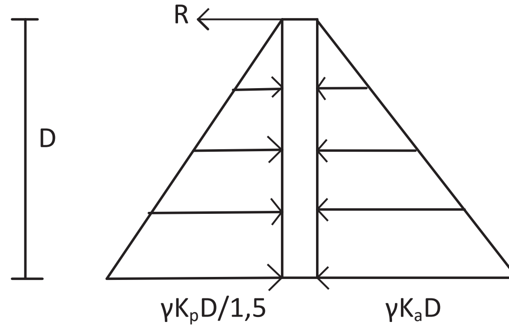
Çizelge 1. 15 mm çapa sahip halatların özellikleri [10]

15 mm çaplı halat sayısı	Enkesit alanı	Nihai dayanımı	Öngerme kuvveti		
			$0.8f_{pu}A_{ps}$	$0.7f_{pu}A_{ps}$	$0.6f_{pu}A_{ps}$
	(mm^2)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
1	140	260.7	209	182	156
3	420	782.1	626	547	469
4	560	1043	834	730	626
5	700	1304	1043	912	782
7	980	1825	1460	1277	1095
9	1260	2346	1877	1642	1408
12	1680	3128	2503	2190	1877
15	2100	3911	3128	2737	2346
19	2660	4953	3963	3467	2972

Çizelge 2. Korozyon koruması için gerekli minimum çap değerleri [10]

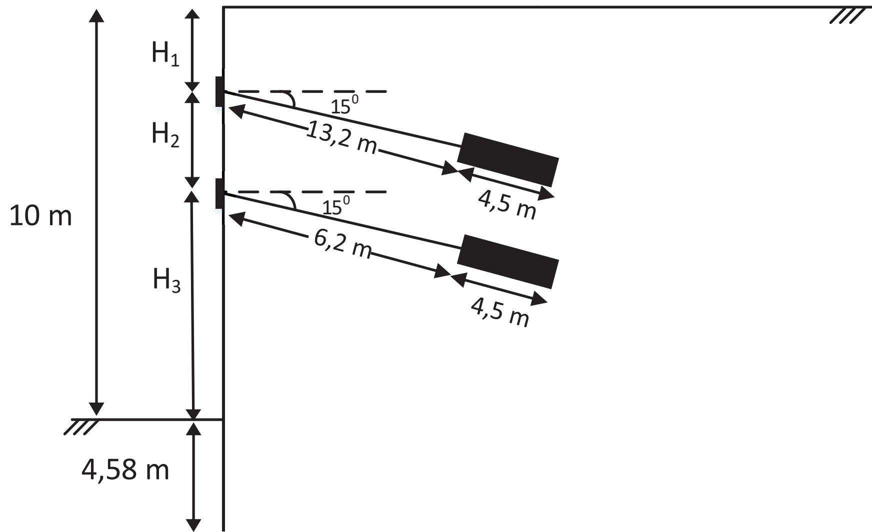
Tendon türü	Minimum çap boyutu (mm) I. sınıf korozyon koruması
15 mm çapa sahip halat sayısı	
4	150
7	165
9	178
11	191
13	203
17	216

Palplanş duvarın çakma derinliğinin hesabı için Şekil 3'te gösterilen serbest cisim diyagramı kullanılmış ve pasif toprak basıncı katsayısı 1,5'lik bir güvenlik sayısına bölünmüştür [13].



Şekil 3. Çakma derinliği için serbest cisim diyagramı

Yapılan tüm bu hesaplardan sonra 224 farklı geometriye sahip palplanş duvara ait çakma derinliği, duvar kesiti, ankraj uzunlukları ve ankraj rijitlikleri belirlenmiştir. Daha sonra tüm bu veriler içerisinden en uzun ankraj, en büyük ankraj rijitliği, en büyük rijitliğe sahip duvar kesiti ve en büyük çakma derinliği kullanılarak tek bir duvar kesiti oluşturulmuştur. Bunun yapılmasındaki amaç; Plaxis 2D'de modellenecek duvarın nümerik analizlerde göçmesini engellemek ve duvar deplasmanları üzerine sadece ankraj konumlarının değişiminin etkisini araştırabilmektir. Hesaplarda ankraj kök bölgesinin elastisite modülü değeri 32 Mpa olarak seçilmiştir. Sonuç olarak oluşturulan palplanş geometrisine ait kesit Şekil 4'te, bu kesite ait özellikler Çizelge 3'te gösterilmiştir.



Şekil 4. PLaxis 2D'de incelenecek palplanş geometrisi

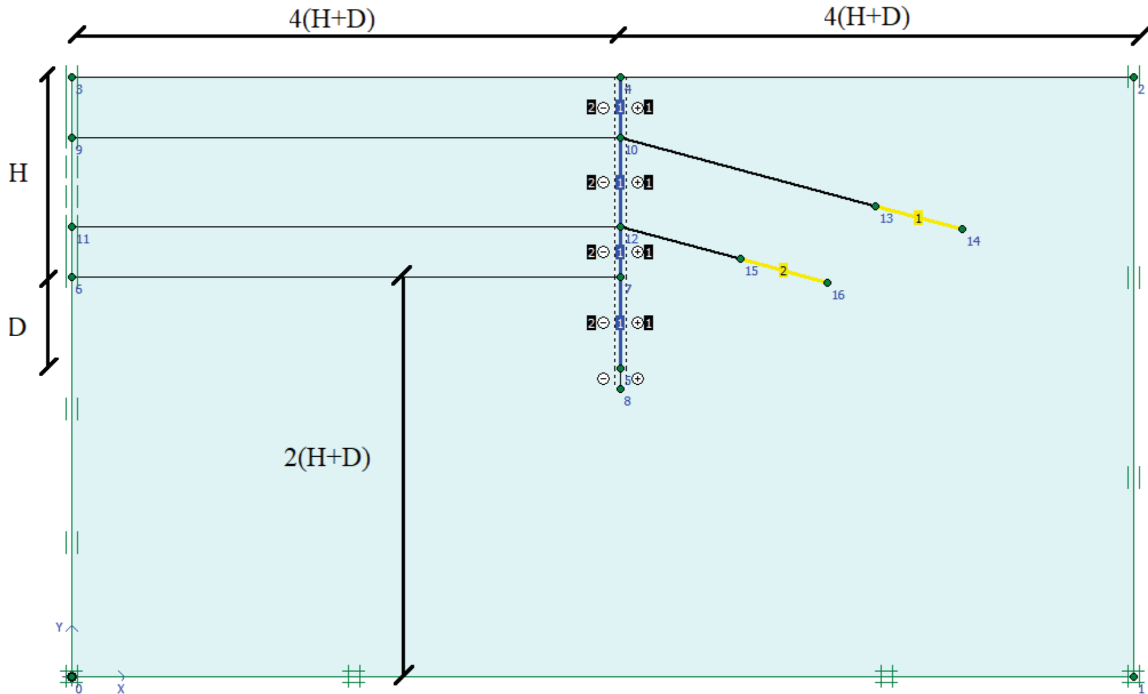
Çizelge 3. Plaxis 2D'de modellenecek palplanşa ait mekanik özellikler

Parametre	Değer	Birim
Ankraj gövdesi eksenel rijitliği (EA)	82530	kN
Ankraj kök bölgesi rijitliği (EA)	377000	kN/m
Palplanş eksenel rijitliği (EA)	3948000	kN/m
Palplanş eğilme rijitliği (EI)	84000	kNm^2/m
Levha ağırlığı (w)	3,03	kN/m/m

Şekil 4'teki palplanş duvar geometrisi üzerinde 1. ve 2. sıradaki ankrajların konumları değiştirilerek 224 farklı palplanş duvar, deplasmanları incelenmek üzere Plaxis 2D'de analiz edilmiştir. Analizlerde zemin modeli için kullanılan parametreler Çizelge 4'te verilmiştir. Hesaplarda model sınır koşulları için Şekil 5'te gösterilen değerler kullanılmıştır [14].

Çizelge 4. Zemin ve arayüz özellikleri

Parametre	Sembol	Kum	Birim
Malzeme modeli	-	Hardening Soil	-
Malzeme davranış türü	-	Drenajlı	-
Zeminin doğal birim hacim ağırlığı	γ_n	18	kN/m^3
Sekant elastisite modülü	E_{50}^{ref}	30000	kN/m^2
Tanjant elastisite modülü	E_{oed}^{ref}	30000	kN/m^2
Yükleme-boşaltma elastisite modülü	E_{ur}^{ref}	90000	kN/m^2
Poisson oranı	ν_{ur}	0,2	-
İçsel sürtünme açısı	$\varnothing$	30	^{0}
Dilatansi açısı	φ	0	^{0}
Arayüz azaltma katsayısı	R_{inter}	0,630	-

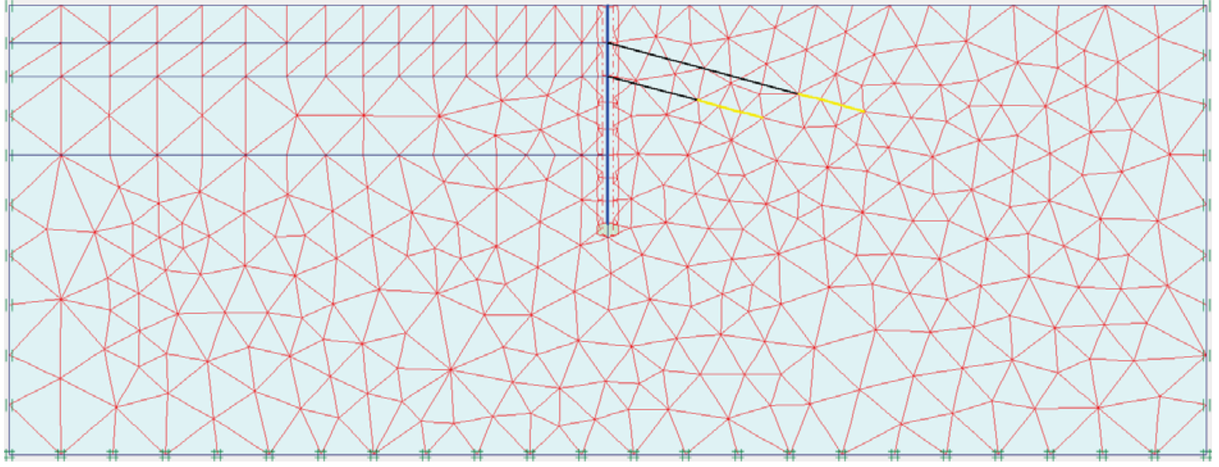


Şekil 5. Palplanş duvarlar için model sınırları [14]

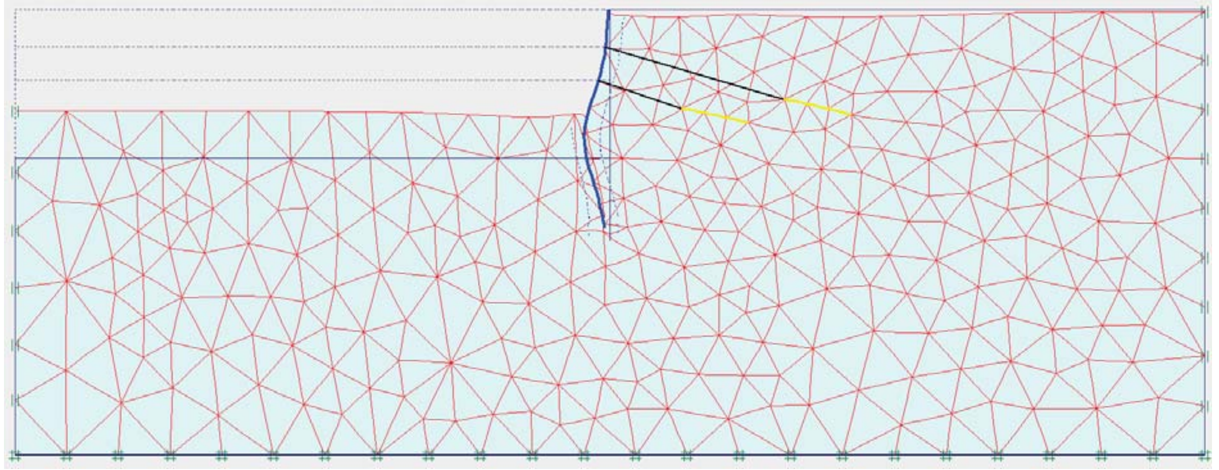
Gerilme seviyesine bağlı olarak zeminin rijitliğindeki değişimi dikkate alarak gerçeğe daha yakın model oluşturmaya yardımcı olduğu için zemin bünye modeli olarak “Hardening Soil” modeli seçilmiştir. Ayrıca duvar ve ankraj gibi gerilme yoğunlaşması olan bölgelerde daha hassas hesap yapılabilmesi için hesaplarda “fine (sıkı)” mesh (ağ) kullanılmıştır (Şekil 6). Arayüz azaltma katsayısının hesabı için Eşitlik (6) kullanılmıştır [15].

$$R_{inter} = \frac{\tan \delta}{\tan \varnothing} \quad (6)$$

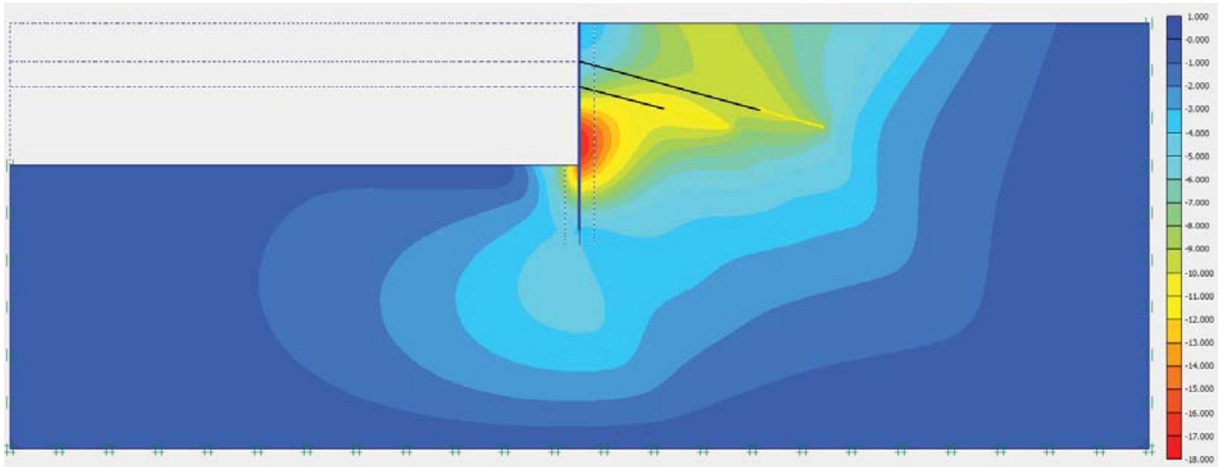
Hesaplarda sekant elastisite modülünün tanjant elastisite modülüne eşit olduğu ve yükleme-boşaltma rijitliğinin bu iki değerin 3 katına eşit olduğu varsayılmıştır [16]. Ayrıca model üzerinde aşamalı inşaat analizi gerçekleştirilirken kazı seviyelerinin ankraj konumlarından geçtiği varsayılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen abartılı şekil değişikliğine sahip duvar geometrisi ile deplasmanların tonlama yöntemi ile gösterimi Şekil 7 ve Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 6. Modele ait mesh (ağ) görüntüsü



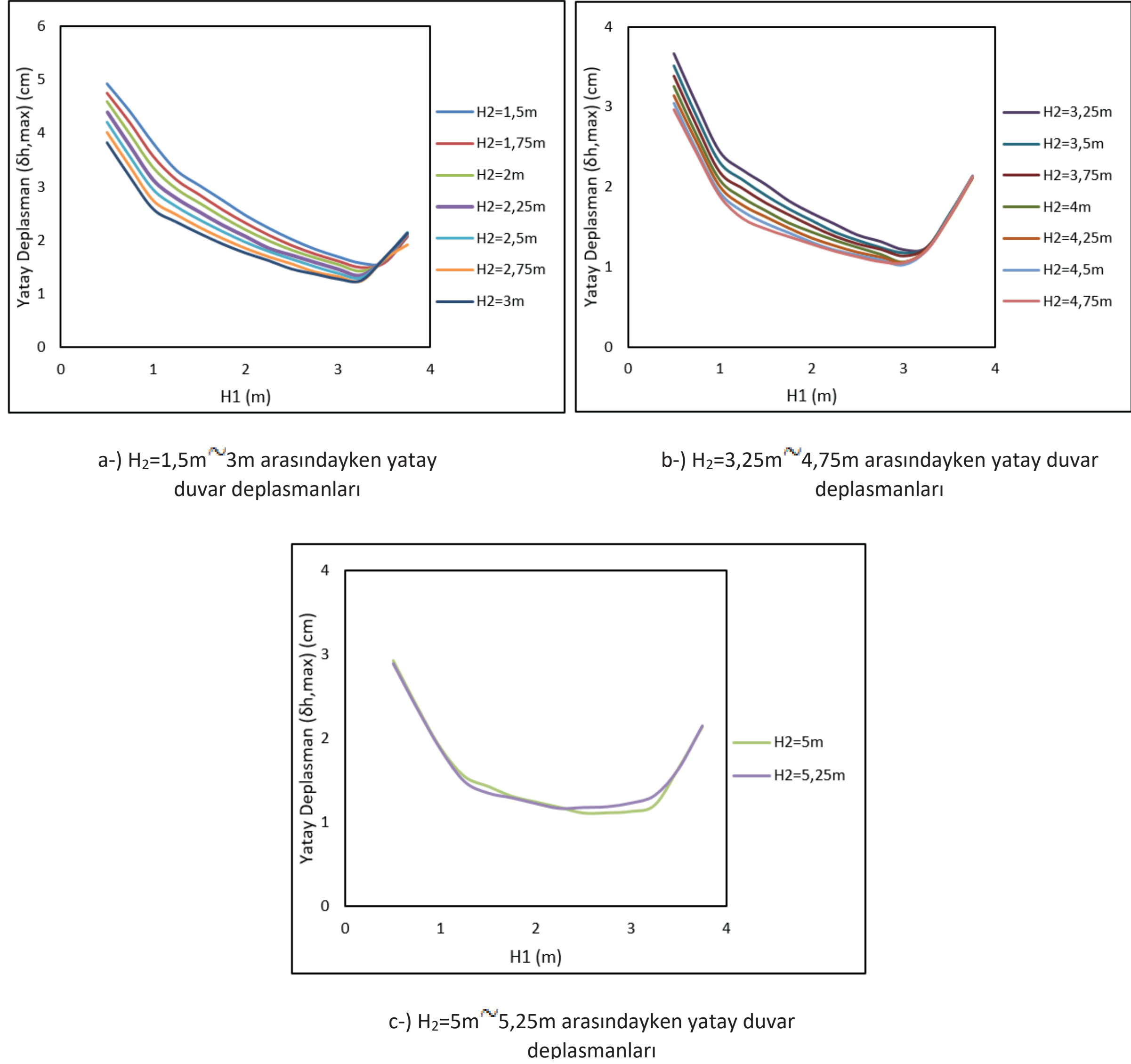
Şekil 7. İnşaat sonunda palplanş duvara ait abartılı şekil değişikliği



Şekil 8. Palplanş duvar ve zemine ait deplasmanlar (shadings)

TARTIŞMA VE DEĞERLENDİRME

Plaxis 2D'de incelenen 224 farklı palplanş geometrisine ait yatay ve toplam duvar deplasmanlarının ankraj konumlarına bağlı değişimleri grafiksel olarak incelenmiş ve sırasıyla Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir.

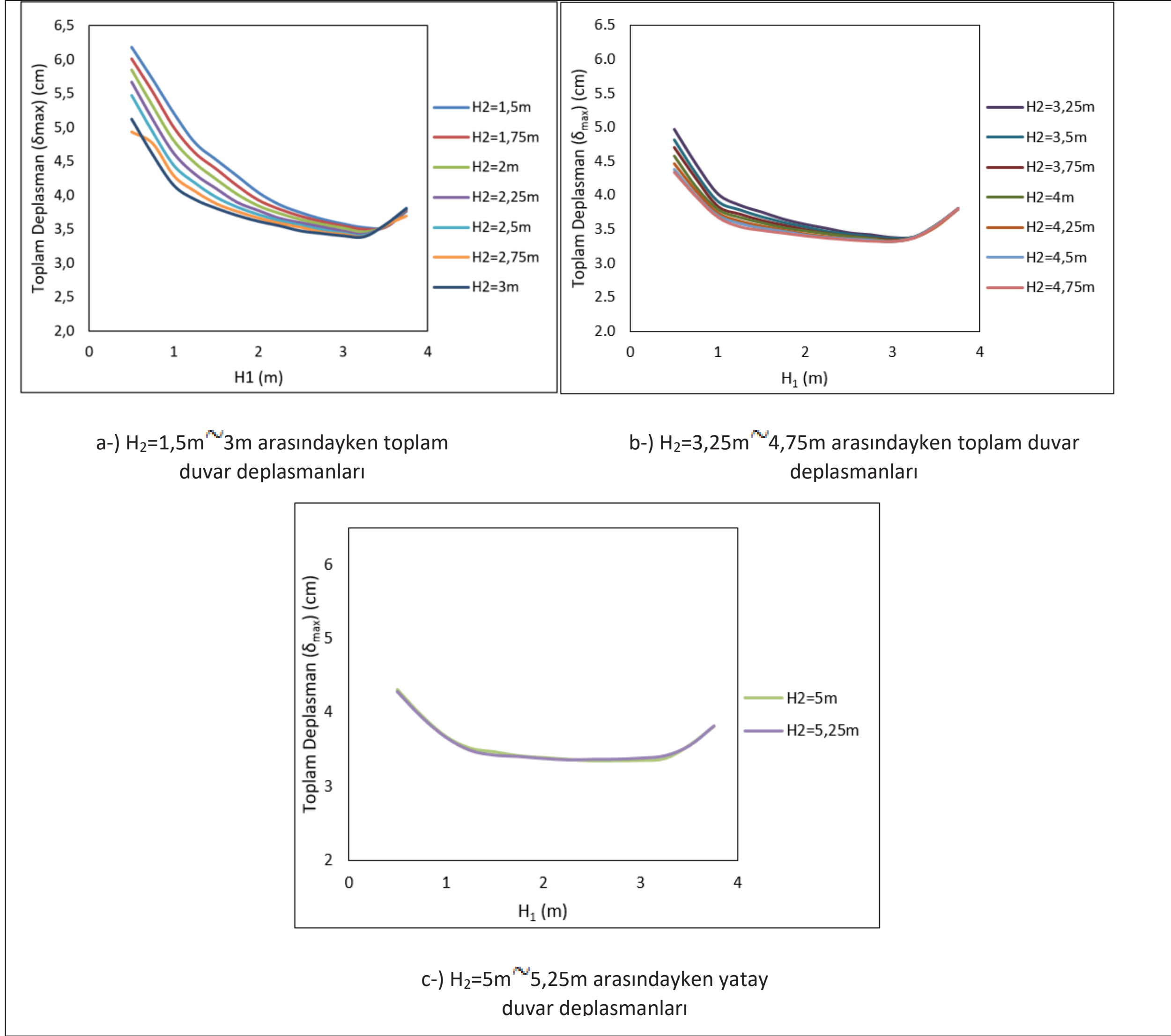


a-) H_2=1,5m~3m arasındayken yatay duvar deplasmanları

b-) H_2=3,25m~4,75m arasındayken yatay duvar deplasmanları

c-) H_2=5m~5,25m arasındayken yatay duvar deplasmanları

Şekil 9. Yatay duvar deplasmanları



a-) H_2=1,5m~3m arasındayken toplam duvar deplasmanları

b-) H_2=3,25m~4,75m arasındayken toplam duvar deplasmanları

c-) H_2=5m~5,25m arasındayken yatay duvar deplasmanları

Şekil 10. Toplam duvar deplasmanları

Şekil 9 ve Şekil 10'a bakıldığında tüm grafiklerde, en üstteki ankrajın zemin üst yüzeyine olan düşey mesafesi (H_1) 0,5 m'den 1 m'ye artan değerler aldığında deplasmanların hızlı bir şekilde azaldığı görülmektedir. Ayrıca en küçük duvar deplasmanları; iki ankraj arasındaki düşey mesafe (H_2) 1,5 m ile 3 m arasındayken H_1=3,25 m olduğunda, H_2, 3,25 m ile 4,75 m arasındayken H_1=3 m olduğunda, H_2, 5 m ile 5,25 m iken H_1=2,25 m olduğunda oluşmaktadır. Bununla birlikte H_2, 1,5 m ile 3 m arasındayken H_1>3,25 m olduğunda, H_2, 3,25 m ile 4,75 m arasındayken H_1>3 m olduğunda, H_2, 5 m ile 5,25 m iken H_1>2,25 m olduğunda yatay ve toplam duvar deplasmanlarının yeniden artmaya başladığı görülmektedir (Şekil 9 ve Şekil 10). Yine Şekil 9 ve 10'da aynı H_1 değerlerine karşılık H_2'nin artması ile deplasmanların azaldığı görülmektedir. Analizler sonucunda en büyük yatay ve toplam duvar deplasmanlarının sırasıyla 4,926 cm ve 6,017 cm olduğu, en küçük yatay ve toplam duvar deplasmanlarının ise sırasıyla 1,029 cm ve 3,318 cm olduğu gözlemlenmiştir.

Bilgin ve Erten [6], iki ankrajlı bir palplanş duvarda en küçük deplasmanların, 1. ve 2. sıradaki ankrajların zemin üst yüzeyine olan düşey mesafelerinin sırasıyla kazı derinliğinin %25'ine ve %62,5'ine eşit olduğu durumda meydana geldiğini ifade etmektedirler. Bu çalışmada ise en küçük deplasmanların, 1. ve 2. sıradaki ankrajların zemin üst yüzeyine olan düşey mesafelerinin sırasıyla kazı derinliğinin %30'una ve %75'ine eşit olduğu durumda meydana geldiği gözlemlenmiştir. Ayrıca her bir H_2 değerine karşılık H_1 değeri genellikle kazı derinliğinin %30 ile 32,5'ine eşit olduğunda en küçük deplasmanların oluştuğu görülmüştür.

SONUÇLAR

- Orta sıkı kuru kum zemin içerisine çakılan iki ankrajlı çelik bir palplanş duvarda en küçük deplasmanlar; 1. ve 2. sıradaki ankrajların zemin üst yüzeyine olan düşey mesafeleri sırasıyla kazı derinliğinin %30'una ve %75'ine eşit olduğu durumda meydana gelmektedir. Bu durumda yatay deplasmanlar, en büyük yatay deplasmana sahip duvara nispeten yaklaşık olarak %80, toplam duvar deplasmanları ise en büyük toplam deplasmana sahip duvara nispeten yaklaşık olarak %45 azalmaktadır.
- Analizlerin tümü incelendiğinde en üstteki ankrajın zemin üst yüzeyine olan düşey mesafesi, kazı derinliğinin %30~%32,5'ine eşit olduğunda genellikle en küçük duvar deplasmanları oluşmaktadır.
- Analizler orta sıkı kuru kum zemin içerisindeki 10 m kazı derinliği için yapılmıştır. Bu nedenle kazı derinliği, zemin cinsi ve su seviyesi de hesaplara değişken olarak katılarak çalışma kapsamı genişletilebilir ve daha genel sonuçlar elde edilebilir.

KAYNAKLAR

[1] TBDY (2018), Kazı Güvenliği ve Alınacak Önlemler, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Türkiye.
[2] K.N.Dinakar, S.K.Prasad (2014), "Behaviour of Tie Back Sheet Pile Wall for Deep Excavation Using Plaxis", "International Journal of Research in Engineering and Technology", 3(6), 97-103.
[3] W.Zhao, C.Du, L.Sun, X.Chen, (2019), "Field Measurements and Numerical Studies of the Behaviour of Anchored Sheet Pile Walls Constructed with Excavating and Backfilling Procedures", "Engineering Geology", 259, 1-11.
[4] J.Ma, B.Berggren, H.Stille, S.Hintze, "Behaviour of Sheet Pile Walls at Deep Excavations in Soft Soils Overlying Hard Rock in Stockholm", "International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG)", 1-6 October 2008, Goa-India, Proc. pp. 3922-3929.
[5] A.K.Ram, S.Mohanty, (2017), "Numerical Analysis of Sheet Pile Wall with Pond Ash as Backfill Material", "Workshop on sustainable geotechnics IGS Kanpur", 13-14 October 2017, Kanpur-India, Proc. pp. 1-4.
[6] O.Bilgin, M.B.Erten, "Analysis of Anchored Sheet Pile Wall Deformations", "International Foundation Congress and Equipment Expo", 15-19 Mart 2009, Florida-United States, Proc. pp. 136-144.
[7] D.D.Zhang, J.F.Zhou, W.G.Zhang, C.B.Zhu, R.R.Sun, L.J.Ji, Z.X.Wu, (2012), "The Finite Element Analysis of the Excavation on Adjacent Buildings Based on Mohr Coulomb Model, "Advanced Materials Research, Trans Tech Publications Ltd", 374, 2171-2175.
[8] A.Sanzeni, F.Colleselli, M.Mino, A.Merlini, (2013), "Behavior Prediction and Monitoring of a Deep Excavation in the Historic Center of Brescia", Seventh International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering", 29 April-4 May, Chicago, Proc. pp. 1-10.
[9] T.H.Tefera, S.Nordal, L.Grande, R.Sandven, A.Emdal, (2006), "Ground Settlement and Wall Deformation From a Large Scale Model Test on a Single Strutted Sheet Pile Wall in Sand", "IJPMG-International Journal of Physical Modelling in Geotechnics", 2, 1-13.
[10] FHWA-IF-99-015, (1999). Geotechnical Engineering Circular No 7 Ground Anchors and Anchored Systems. FHWA, Washington.
[11] BS 8081, (1989). British Standard Code of Practice for Ground Anchorages. BSI, London.
[12] T.H.Aaron, (2006), "Material Properties of the Grade 300 and Grade 270 Prestressing Strands and Their Impact on the Design of Bridges", M.Sc. Thesis, "Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University", Blacksburg.
[13] D.P.Coduto, "Foundation Design Principles and Practices 2nd Edition", "Prentice Hall", 883p, USA.
[14] O.Bilgin, (1994), "The Behaviour of Anchored Sheet Pile Walls Constructed by Excavation and Backfilling", M.Sc. Thesis, "Bachelor of Science Middle East Technical University", Ankara.
[15] O.Bilgin, (2012), "Lateral Earth Pressure Coefficients for Anchored Sheet Pile Walls", "International Journal of Geomechanics", 12(5), 584-595.
[16] Plaxis 2D Tutorial Manual Connect Edition V20, 2019.